

ビジョンシステムの実用化に関する研究開発 (第2報)

切削加工モニタリングシステムの開発

竹保義博, 佐々木秀和, 小池 明^{*1}, 岡田芳雄

Study on Utilization of a Vision System II

Development of the monitoring system for Metal Cutting

TAKEYASU Yoshihiro, SASAKI Hidekazu, KOIKE Akira^{*1} and OKADA Yoshio

To observe the state of the tool blade when cutting with the rotation tool, we developed the monitoring system for metal cutting. CCD camera was stored in the housing, and a dustproof device to secure clear view while excluding the influence of the dispersions such as mist and the cutting rubbish under the processing was assumed to be a method to throw air on an optical axis. The personal computer synchronized the flash timing of the LED flash with the rotation of the tool, and came to be able to observe the still picture of the tool with CCD camera. Moreover, it came to be able to take the still picture of all blades into the personal computer by the automatic operation.

回転工具による切削加工において、工具切れ刃を監視するために、切削加工モニタリングシステムを開発した。加工中のミストや切り屑などの飛散の影響を排除しながらクリアな視界を確保するための防塵装置は、CCDカメラをハウジングに収納し、光軸上に空気を流す方式とした。パソコンにより、LEDストロボ照明の閃光タイミングを工具の回転に同期させ、CCDカメラによる工具の静止画像を観察することができるようになった。また、自動ですべての切れ刃の静止画像を、パソコンに取り込むことができるようになった。

キーワード：切削加工, モニタリング, CCDカメラ, ストロボ

1. 緒 言

切削加工では、切削性能を左右する工具切れ刃の管理は、加工品質や生産性の維持、向上を図る上で、大変重要である。熟練した技能者は、工具切れ刃を観察することにより、加工状態の優劣を判断することができる。しかし、近年の工作機械の密閉化は、これらの観察を著しく困難にしている。

一方で、切削加工の自動化・無人化が進み、工具切れ刃の異常による加工品質の低下や機械停止による損失を防ぐため、工具を一定時間加工で交換することが一般的となっている。しかし、工具を最大限有効に活用し、生産性の更なる向上を追及するためには、工具切れ刃のモニタリング技術は必要不可欠である。

これまでも様々な切削加工のモニタリング手法が研究されたが、多くは音や振動などの間接的な情報によって工具切れ刃の状態を予測するものであった。これらの手法に比べ、画像により直接モニタリングする手法は、その情報量の多さで圧倒的に優位である。CCDカメラが高機能化し、ネットワーク技術の普及した現在、画像による切削加工モニタリングシステムは、今後その活用が

盛んになると考えられる。

筆者らは昨年度、少量の切削油を用いる切削加工を対象に、工具切れ刃の監視を行う切削加工モニタリングシステムの開発を行った¹⁾。本システムは、LEDストロボ照明を工具の回転に同期して閃光させることにより、回転中の工具を仮想停止させて観察できることを特徴としている。このとき、LEDストロボ照明の閃光タイミングを制御することにより、工具を任意の角度から観察することが可能である。

本年度は、昨年度の研究成果をもとに、切削加工モニタリングシステムの改良を行った。改良の内容は、加工機への設置の自由度を増すための画像入力部の小型化と、遠隔地からの監視を実現するための、ハードによっていた制御方式のパソコンによる方式への変更である。試作したモニタリングシステムは、実際のマシニングセンタに取り付けて実証実験を行った。改良の詳細と、実証実験の結果を報告する。

2. モニタリングシステムの改良

2.1 画像入力部の小型化

切削加工モニタリングシステムの画像入力部を、様々なサイズの加工機の機内に設置でき、設置位置の自由度が高まるよう、小型化に取り組んだ。画像入力部は、CCD

カメラにソニー(株)製の XC-HR50 を採用し、LED ストロボ照明と防塵装置により構成されている。試作した画像入力部を写真1に示す。ハウジングは、機器の構成をわかりやすくするため、透明なアクリル製としている。ハウジングの内部は、レンズと CCD カメラの組み合わせを検討するために、空間に多少の余裕を残した設計となっている。最終的な仕様を決定した後は、更なる小型化が可能である。

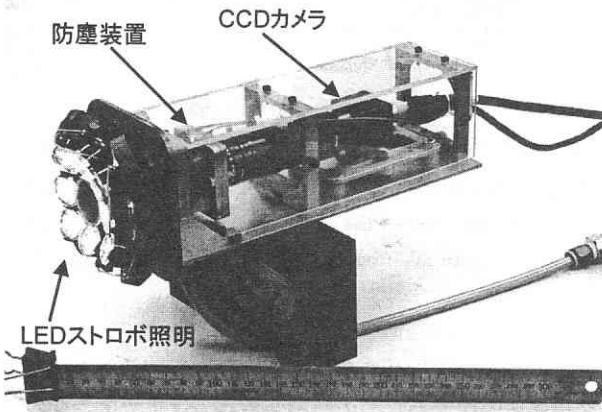


写真1 試作した画像入力部

2.1.1 LED ストロボ照明の小型化

LED ストロボ照明の小型化にあたっては、より高輝度な白色LEDを高密度に配置することとした。使用した白色LEDの仕様を表1に示し、昨年度使用したものと比較した。白色LEDは光軸を囲む円周上に配置し(写真1参照)、背面は放熱効果を高めるため銅板を使用している。昨年度のものに比べ、トータルの光度は同等としながら、LEDの設置面積を1/2以下にすることができた。実際には、高い指向性を持つ白色LEDを、観察面に近い位置に配置することで、観察領域の照度を増やすことが出来た。更なる小型化の手法としては、光ファイバーによるリングライトガイドの使用が考えられる。

2.1.2 防塵装置の小型化

マシニングセンタの機内に浮遊する油滴や塵から CCD

表1 LEDの比較

白色LED	昨年度使用	今年度使用
メーカー	日亜化学工業(株)	ルミレッズ・ライティング社
品名	NSPW500BS	LXHL-NWE8
1個あたりの		
光度(cd)	9.2	500
電圧(V)	3.6	3.42
電流(mA)	20	350
指向特性(°)	20	10
大きさ(mm)	φ5	□25
使用個数	400個	8個

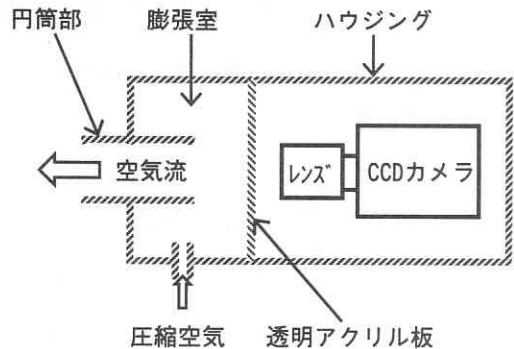


図1 防塵方法の模式図

カメラを保護し、クリアな視界を確保するための防塵装置は、空気を光軸上に流す方式とした。防塵装置の概略を図1に示す。エアホースから送られた圧縮空気は、レンズ前方の透明なアクリル板により仕切られた膨張室で一旦膨張し、その後円筒内を一樣に流れ、光軸上のレンズ前方に向かって噴出される。この空気流により、視界の汚れの原因となる油滴や塵は、膨張室に侵入できない仕組みとなっている。

2.2 制御方式の変更

遠隔地からネットワークを介して工具切れ刃を監視することを実現するために、ハードによっていたシステムの制御を、パソコンによる制御方式へ変更した。開発環境には、日本ナショナルインスツルメンツ社の LabVIEW を使用し、入出力ボードも同社のものを使用した。この開発環境により、加工機主軸の回転位置をレーザーセンサにより検知した結果をもとに、LED ストロボ照明の閃光と CCD カメラによる画像取り込みのタイミングを制御する2種類のアプリケーションを開発した。

2.2.1 工具観察アプリケーションの開発

作業者が、密閉された加工機内で回転する工具の切れ刃を、機械を停止することなしにその場で簡単に観察できることを実現するため、工具観察アプリケーションを

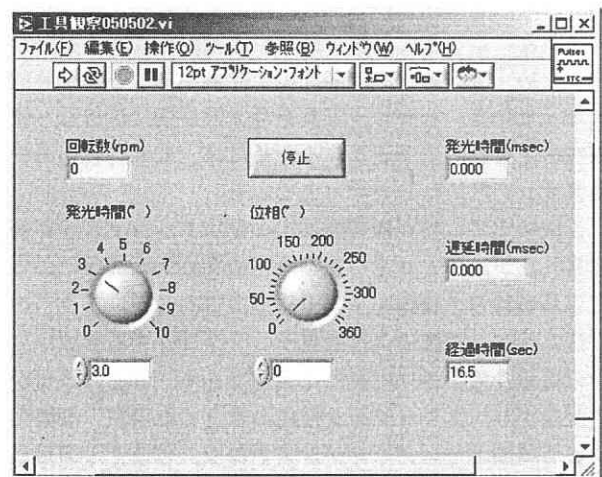


図2 工具観察アプリケーションの画面

開発した。パソコンの画面に表示される工具観察アプリケーションのフロントパネルを図2に示す。作業者がこのアプリケーションを実行すると、レーザセンサの信号を解析し工具の回転数が表示され、LED ストロボ照明の閃光が始まって、モニター上で回転中の工具を仮想停止させて観察できる。このとき、フロントパネル中央の位相ダイヤルを回すと、LED ストロボ照明の閃光タイミングが制御され、回転中の工具を任意の角度から観察することができる。また、フロントパネル右の閃光時間ダイヤルを回すと、画面の明るさを変えることができる。これは、LED ストロボ照明の閃光時間を制御しており、小さくすると暗く、大きくすると明るくなる。

2.2.2 切れ刃撮影アプリケーションの開発

切れ刃撮影アプリケーションは、自動で工具のすべての切れ刃画像をパソコンに取り込むことができる制御アプリケーションである。パソコンに取り込んだ工具切れ刃画像は、画像処理により異常や磨耗を検知することが可能であり、自動加工を行う加工機に適用し、フィードバック制御を行うことを想定している。

このアプリケーションは、あらかじめ工具の刃数情報を入力し実行すると、レーザセンサにより工具回転数を計測した後、すべての切れ刃画像の取り込みを瞬時に行うことができる。このときのレーザセンサからの入力信号と、LEDストロボ照明への出力信号のタイミングチャートを、4枚刃の例について図3に示す。工具の1回転（時間 T ）ごとに決まった位置で出力されるレーザセンサからの信号を基準に、LED ストロボ照明への1回目の信号は時間 t 遅れて出力される。2回目以降は、前回の遅れ時間に1刃分回転する時間 $1/4T$ を加えた時間遅れて信号が出力される。このようにして全ての切れ刃位置で LED ストロボ照明を閃光させ、この信号に同期させて CCD カメラに画像を取り込んでいる。

3. 実証実験と結果

3.1 マシニングセンタへの取り付け

当所で所有するマシニングセンタ（安田工業（株）YBM640V）を使用し、切削加工モニタリングシステムの実証実験を行った。このとき、画像入力部は機内の加工範囲外にマグネットベースを組んで設置した。回転位置を読み取るレーザセンサは、工具ホルダ上部のスピンデルヘッド下部に取り付け、主軸に貼った反射テープを検出するように調整した。

3.2 工具切れ刃の観察

マシニングセンタに直径 3mm の 4 枚刃エンドミルを取り付けて回転させ、工具観察アプリケーションを使用し、切れ刃の仮想停止画像の観察を行った。徐々に回転数を上げながら観察を繰り返し、毎分 15,000 回転で回転する工具の切れ刃を、任意の角度からの静止画像として観察できることを確認した。

3.3 工具切れ刃画像の自動取り込み

切れ刃撮影アプリケーションを使用し、自動で工具切れ刃の静止画像をパソコンに取り込む実験を行った。前項と同じ工具を、徐々に回転数を上げながら取り込みを繰り返した結果、最高毎分 15,000 回転でも、4 枚の切れ刃画像を瞬時に取り込めることを確認した。

このとき、LED ストロボ照明の閃光角度を変えながら、パソコンに取り込んだ静止画像を写真2に示す。閃光角度は、LED ストロボ照明が閃光する時間 t を、この間に工具が回転する角度 α で表している。閃光時間 t と閃光角度 α の関係は、毎分の回転数を R とすると(1)式で表される。

$$t = \frac{\alpha}{360} \times \frac{60}{R} [\text{sec}] \quad (1)$$

α を 1° に設定すると、 R が 15,000 回転/分のとき t

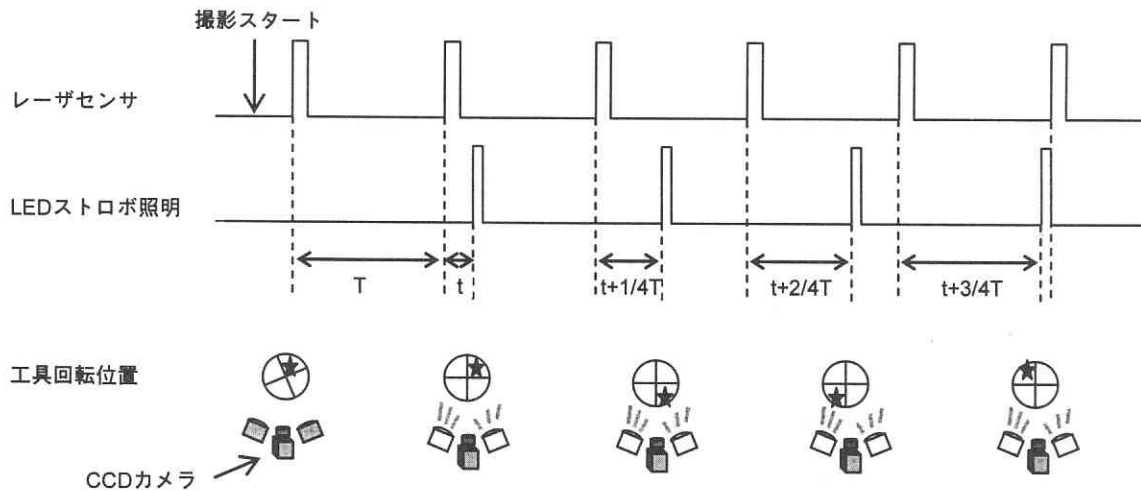
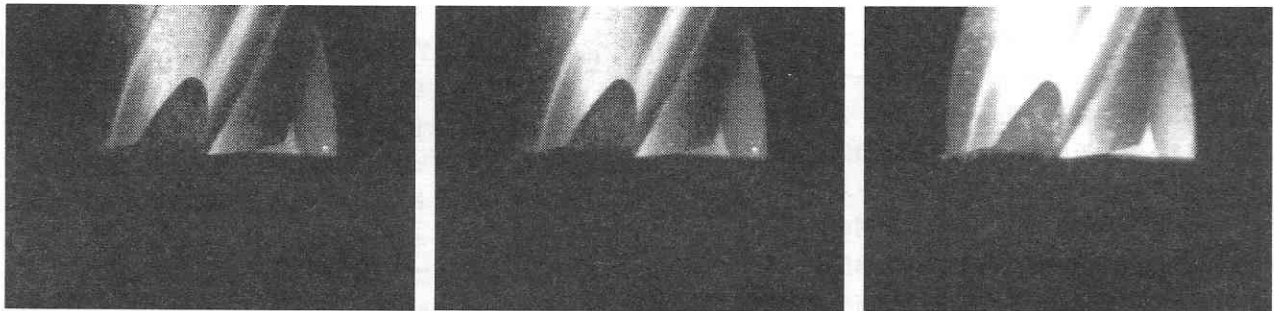


図3 画像取り込み入出力信号のタイミングチャート



(a)閃光角度1°

(b)閃光角度2°

(c)閃光角度4°

写真2 切れ刃仮想停止画像

は約11 μ secである。写真より、閃光角度が増すと画像が明るくなっているが、画像が不鮮明になることが分かる。これは、CCDに画像を取り込む間に工具が回転してしまうため、鮮明な画像を得るためには、明るいLEDストロボ照明を使用し、閃光角度を短くする必要があることが判明した。

4. 結 言

昨年度の研究成果をもとに、切削加工モニタリングシステムの改良を行った。また、マシニングセンタによる検証を行った。以下に結果を記す。

1) 画像入力部について、高輝度な白色LEDを高密度に配置したLEDストロボ照明の採用と、圧縮空気をCCDカメラの光軸上に流す防塵方式により、昨年度のものに比べ体積比で約1/10に小型化できた。

- 2) 作業者が、密閉された加工機中で回転する工具切れ刃を簡単に観察するための、工具観察アプリケーションを開発した。
- 3) 工具の刃数や回転数の変化に対応し、自動ですべての切れ刃画像をパソコンに取り込むための制御アプリケーションを開発した。
- 4) 開発したシステムをマシニングセンタの機内に設置し、直径3mmの4枚刃エンドミルのモニタリングを行って、最高毎分15,000回転で使用できることを確認した。

文 献

- 1) 岡田芳雄ほか3名:広島県立東部工業技術センター研究報告, 17, 46-49 (2004).